

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Telemetrie závodního vozu

Telemetry of Racing Car

Student:

Richard Novozámský

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lukáš Horňáček

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Richard Novozámský**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R003 Dopravní technika a technologie
Téma: **Telemetrie závodního vozu**
Telemetry of Racing Car
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Úvod
- 2) Teoretický rozbor problematiky
- 3) Návrh metodiky měření a zpracování dat
- 4) Ověření metodiky
- 5) Zhodnocení a doporučení
- 6) Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. MILLIKEN, Douglas L a William F MILLIKEN. Race car vehicle dynamics: problems, answers, and experiments. Warrendale, PA: SAE International, 2003. xiii, p. 280. ISBN 0768011272.
2. MATĚJKA, Rostislav. Vozidla silniční dopravy I. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1978, 151 s.
3. VLK, František. Podvozky motorových vozidel. 3. přeprac., rozš. a aktualiz. Brno: František Vlk, 2006, 464 s. ISBN 80-239-6464-x.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Horňáček**

Datum zadání: 11.12.2015
Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou svou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 14.5.2016



podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 14.5.2016

Richard Novozámský

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Richard Novozámský

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Moravská 180/4, 682 01 Vyškov

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce panu Ing. Lukáši Horňáčkovi za odborné vedení práce, čas, důležité připomínky a rady. Dále bych chtěl poděkovat celé rodině za umožnění studia a podporu po celou jeho délku a také týmu VŠB-TUO Formula Student za cenné rady při návrhu a realizaci.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

NOVOZÁMSKÝ, R. *Telemetrie závodního vozu: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2016, 50s. Vedoucí práce: Ing. Horňáček, L.

Bakalářská práce se zabývá návrhem telemetrie pro vůz Formula student Vector02. V první části se zabývá rozбором telemetrických systémů a jejich možného využití. V druhé části se zabývá návrhem metodiky a možnostmi měření potřebných veličin. Dále pak její otestování na trati a následné úpravy senzorického celku. V předposlední části řeší aplikaci telemetrie na závodní vůz Vector02. Vestavbu jednotlivých celků a konstrukci senzorických skupin. Závěrem práce je zhodnocení dosažené přesnosti měření, celkové hmotnosti telemetrie a její finanční náročnost.

Klíčová slova:

Telemetrie, Formula Student, FSAE, Automobilová sensorika, Datalogger

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

NOVOZÁMSKÝ, R. *Telemetry of Racing car: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2016, 50p. Thesis head: Ing. Horňáček, L.

The bachelor thesis deals with telemetry for car Formula student Vector02. The first part deals with analysis of telemetry systems and their possible use. The second part deals with methodology proposal and options of measuring needed quantities. Furthermore, the test on the track and the whole sensors adjustments. In the penultimate section addresses the application of telemetry for race car Vector02. Installation of individual units and construction sensory groups. In the Conclusion is evaluating the accuracy achieved, measuring the total weight of telemetry system and its expensiveness.

Key words:

Telemetry, Formula Student, FSAE, Automotive sensors, Datalogger

Obsah bakalářské práce

1	Seznam použitých značek a symbolů	8
1.	Úvod	9
2.	Teoretický rozbor problematiky	10
2.1.	Využití telemetrie.....	10
2.2.	Používaná měřicí zařízení.....	16
2.3	Výrobci.....	18
2.4.	Výstupy a použitý software.....	21
3	Návrh metodiky měření a zpracování dat	24
3.1	Vize.....	24
3.2	Prvotní návrh.....	25
3.3	Testování	25
4	Aplikace a ověření metodiky měření.....	35
4.1	Návrh konstrukce měření zdvihu tlumičů	35
4.2	Konstrukce snímače polohy plynového pedálu.....	37
4.3	Konstrukce snímače polohy brzdového pedálu	38
4.4	Snímání otáček motoru	40
4.5	Zástavba hlavních komponent.....	41
5	Zhodnocení a doporučení.....	43
5.1	Funkčnost	43
5.2	Hmotnost.....	44
5.3	Finanční náročnost.....	45
6	Závěr.....	46
7	Seznam použité literatury	47
8	Seznam obrázků, tabulek a grafů	48
9	Seznam příloh	49
9.1	Přílohy.....	49
9.2	Přílohy na CD.....	49
10	Seznam použitého softwaru.....	50

1 Seznam použitých značek a symbolů

FSAE	(Formula Society of Automotive Engineers) spolek konstruktérů studentských formulí, organizátor závodů a tvůrce pravidel
SD-karta	(Secured Digital) paměťová karta
GPS	(Global Positioning System) Globální polohovací systém
TFT	(Thin Film Transistor) Tenkofilmový tranzistorový display
USB	(Universal Serial Bus) Universální sériová sběrnice
ECU	(Electronic Control unit) Elektronická řídící jednotka
WAAS	(Wide Area Augmentation System) Rozšířený družicový systém v Americe
EGNOS	(European Geostationary Navigation Overlay Service) Rozšířený družicový systém v Evropě
RPM	(Revolutions Per Minute) Otáčky za minutu
CAN Bus	(Controlled Area Network) sběrnice pro vnitřní komunikační síť
TTL pulzy	(Transistor Transistor Logic) Tranzistorově tranzistorová logika
CD	(Compact Disc) Datový disk
TPS	(Throttle Position Sensor) Senzor pozice plynu (klapky)
NI-MH	Nikl-Metal hydridový akumulátor
Li-POL	Lithium-Polymerový akumulátor

1. Úvod

Dlouho bylo řízení závodních strojů ve všech jejich rozličných provedeních závislé jen a jen na pilotových schopnostech. Umění posoudit okolní vlivy, odhadnout správně chování stroje, dokonale číst trať, odhadnout poškození pneumatik nebo jiných částí vozu, byly nejdůležitější potřebné zkušenosti, jež mohl pilot nabývat a využívat je na závodním okruhu. Jak se automobilový sport vyvíjel, začaly se hledat nové způsoby jak pilotovi jeho práci zefektivnit nebo ulehčit. Od tabulí, vyvěšovaných u pit boxů, přes vysílačky, přenos dat mezi vozem a pit boxem, radiovým spojením s pilotem, až po možnost upravovat vlastnosti vozu přímo z depa.

Telemetrie má všestranné využití a je prospěšná jak pro celý team, tak pro pořadatele. Ve své práci se budu zabývat telemetrií, jakožto možností zápisu dat během jízdy pro následnou analýzu v depu a znázornění důležitých informací pilotovi. Informace nashromážděné tímto způsobem můžeme využít například při vývoji samotného vozu, před závodem pro dosažení ideálních jízdních vlastností a nastavení vozu pro konkrétní charakter trati. Z měřených údajů se učí nejen konstruktéři, kteří mohou vyhodnotit, jak se jimi navržená součást v praxi chovala a v příštím voze ji upravit nebo nahradit, ale i jezdci kteří v profilu trati mohou sledovat, jak danou zatáčku projíždějí, kde by bylo vhodné zrychlit nebo brzdít, jakou zvolit ideální stopu a zatáčku tak projet rychleji. V případě nehody vozu se pak telemetrie využívá pro zjištění příčiny jejího vzniku. S její pomocí se zhodnotí, zda byl na vině jezdec, selhání techniky, klimatické podmínky, nebo pořadatel.

Ve své práci budu řešit aplikaci telemetrie a vhodnou metodiku měření na závodním voze formule SAE VŠB-TUO. Konkrétně měřit základní údaje o jízdě vozu jako je rychlost, působící zrychlení g a průjezd profilem trati. Tato měření doplním o hodnoty stlačení plynového, brzdového pedálu a stlačení tlumičů. S pomocí těchto údajů bychom měli získat lepší přehled o dynamických silách působících na vozidlo. Při testování a závodech potom můžeme tato měření využít k nastavení vozu a ke zrychlení našich pilotů.

2. Teoretický rozbor problematiky

2.1. Využití telemetrie

Obecně

Telemetrii můžeme najít v různých odvětvích vědy a rozumět jí v mnoha významech. Obecně se ale jedná o sběr dat potřebný pro komplexní zhodnocení situace vnitřních i vnějších vlivů sledovaného objektu. Telemetrie je používána v mnoha technických i netechnických odvětvích. Například zemědělci užívají telemetrii pro sběr dat o půdě nebo klimatu. Ochránci přírody užívají telemetrii například ke sledování migračních tras živočichů. V medicíně to může být systém senzorky zajišťující nepřetržený dohled nad pacienty s vážnými zraněními na oddělení JIP. Ve strojírenství můžeme chápat telemetrii jako sběr dat například o opotřebením skupiny strojů a tyto informace odesílat na centrálu údržby. NASA sbírá informace ze sond nebo družic, které využije k pozdějšímu výzkumu. V motorsportu telemetrii využíváme pro zhodnocení situace během závodu nebo při testování. Později jsme tak schopni odhalit nedostatky jak stroje tak i řidiče.

Využití v motorsportu

Tak jak jsem naznačil v předchozím odstavci, telemetrie je pojem, pod kterým si můžeme představit zařízení s různými vlastnostmi a schopnostmi. Pokud zmíníme telemetrii jako pojem z oblasti motorsportu, nejčastěji si jako první představíme zařízení, které umožňuje sběr informací z vozidla a dle potřeby je zobrazuje řidiči a následně ukládá na vybrané médium, například na vnitřní paměť, SD-kartu nebo Flash disk a po dokončení závodu jej můžeme analyzovat. Druhá možnost je měřené veličiny rovnou odesílat během závodu do depa, kde jej závodní inženýři analyzují [1] a dle potřeby odešlou informaci pilotovi. Typickým příkladem druhé možnosti je stav pneumatik. Jakmile se pneumatiky příliš opotřebí, velení v depu dá zprávu pilotovi, který zamíří na výměnu do pitstopu. Pokud budeme důslední a budeme chtít rozlišit první případ od dálkového odesílání, užijeme nový termín, a tím je datalogger. Pod pojmem datalogger si můžeme představit cokoliv, co data sbírá a ukládá je na médium pro následnou analýzu. Námi druhý zmíněný druh sběru informací čili sběr informací a online odesílání do depa, nazýváme telemetrii jako takovou. Ve své bakalářské práci se budu zabývat převážně datalogery.



Obrázek 1: Pohled na inženýry Toyota hodnotící telemetrii v průběhu závodu F1 [1]

Je mnoho oblastí motorsportu, ve kterých je možné telemetrii použít a podle toho se mění i měřené veličiny a metodika jejich měření. Kupříkladu jinak budeme zjišťovat rychlost u vodního skútru a formule 1. Stejně tak budeme potřebovat jiný systém telemetrie pro aplikace v různých měřených závodních strojích. Pro tahač si můžeme dovolit větší rozměry s displayem pro online zobrazení potřebných sbíraných dat řidiči například o teplotě pneumatik. Pro motorku bude potřeba minimální váha i rozměry řídicí jednotky a senzoriky.

Formula student

Formula student je soutěž studentů ve stavbě speciálních závodních vozů pro závody evropské i světové úrovně. Tato soutěž, zpravidla nazývaná Formula Society of Automotive Engineers (ve zkratce Formula SAE), má své kořeny v USA a první závody pod názvem SAE Mini Indy se zde konaly již v roce 1978. V roce 1998 byla tato soutěž přenesena také do Evropy, kde se ustálil název Formula student. Obě soutěže jsou až na drobné odchylky v pravidlech skoro stejné, mají stejný cíl a fungují na podobném principu. K letošnímu datu se formule SAE/Student účastní více než 500 týmů z univerzit celého světa [2]. Formula student/SAE si za tu dobu vydobyla uznání nejen u mnoha firem, ale začíná si budovat dobré zázemí i u fanoušků, kteří hrají v atmosféře závodů podstatnou roli. Nutno podotknout, že celá soutěž probíhá v angličtině a to i v České republice.

Na studenty, kteří se tohoto projektu účastní, jsou kladeny nároky z praxe. Musí se vypořádat s kompletním postupem výroby celého závodního stroje. Na začátku je potřeba definovat, co přesně se bude stavět a jaké jsou cíle závodního týmu. Dále se postoupí ke konstruktérské činnosti návrhu vozu, kompletaci výkresové dokumentace a zahájení výroby nebo její zajištění externí firmou. Nejde ale jen o stavbu závodního vozu. Studenti si také osvojí schopnosti práce v týmu a její úskalí. Pro úspěšné fungování celého týmu je potřeba

vybudovat kvalitní zázemí jak fyzické, tak i určitou strukturu a hierarchii. Podle toho se potom tým řídí i před přípravou na závody a výběr kvalitních pilotů vnáší do projektu Formule student prostředí podobné pracovním pohovorům, které poznají nanečisto z obou stran. To platí i pro nábor nováčků do týmu. V neposlední řadě je pak student postaven před odpovědností za věc, kterou sám navrhnul, vyrobil a udržoval v chodu po celou dobu závodů. Při přípravě na závody nebo testování je důležité předvídat, které nářadí a náhradní díly bude třeba vzít s sebou. To jsou přesně ty schopnosti a zkušenosti, které student většinou nabývá až v praxi, je tedy dobré, že se ve Formuli prakticky seznámí s některými vazbami a vztahy týmových mechanismů, které bývají zaměstnancům většinou skryty, nebo je objeví až po dlouhé době na pozici. I proto je soutěž ve firmách uznávaná a hojně podporovaná. Pro univerzitu je to pak určitá reklama, možnost srovnání se světovými univerzitami a rozšiřování partnerských vztahů s řadou lokálních i globálních firem a organizací.



Obrázek 2: Týmy Formula student na závodě v Německu (2014) [2]

Pro lepší pochopení konstrukce speciálu Formule student je dobré ujasnit si jaké nároky a požadavky jsou na tyto vozy kladeny. Soutěž je rozdělená do jednotlivých závodů, které ctí společná pravidla. Tato pravidla obsahují omezení a upřesnění požadované stavby a konstrukce na téměř 200 stranách technického textu, který je zaměřený na bezpečnost pilotů i diváků. Tato pravidla však, jako v každé jiné motoristické soutěži, udávají určitý takt závodů a upravují konkurenční schopnosti všech týmů. Najdeme tu upřesnění průměru restriktoru sání motoru, a to zvlášť u atmosféricky plněného, tak přeplňovaného motoru. Omezena je také minimální šířka vozu nebo rozměry a konstrukce aerodynamického paketu.

Pravidla ale nejsou jediným faktorem ovlivňujícím stavbu vozu. Je důležité si uvědomit, že každý závod je rozdělen do čtyř disciplín. Každá disciplína a poddisciplína je ohodnocena určitým počtem bodů, jejichž součet udává výsledné umístění týmu v daném závodě.

Statické disciplíny

Konstrukční provedení 150 bodů (Engineering design report)

probíhá tak, že vybraní komisaři z oblasti motorsportu sledují vůz jako celek i jeho jednotlivé části. Hodnotí se dílenské provedení, technická vyspělost i praktičnost daného řešení. Důvody pro specifické konstrukce je potřeba doložit například pevnostními výpočty těhlic nebo simulacemi a ověřením účinnosti aerodynamického balení.

Cenová analýza 100 bodů (cost report)

Závodní speciál pro soutěže Formule student by měl být navržen tak, že se předpokládá jeho budoucí malosériová výroba. V této disciplíně je tedy hodnocen stupeň její realizovatelnosti. Mimo to se hodnotí provedení kalkulace jeho výsledné ceny a dalších ekonomických prvků.

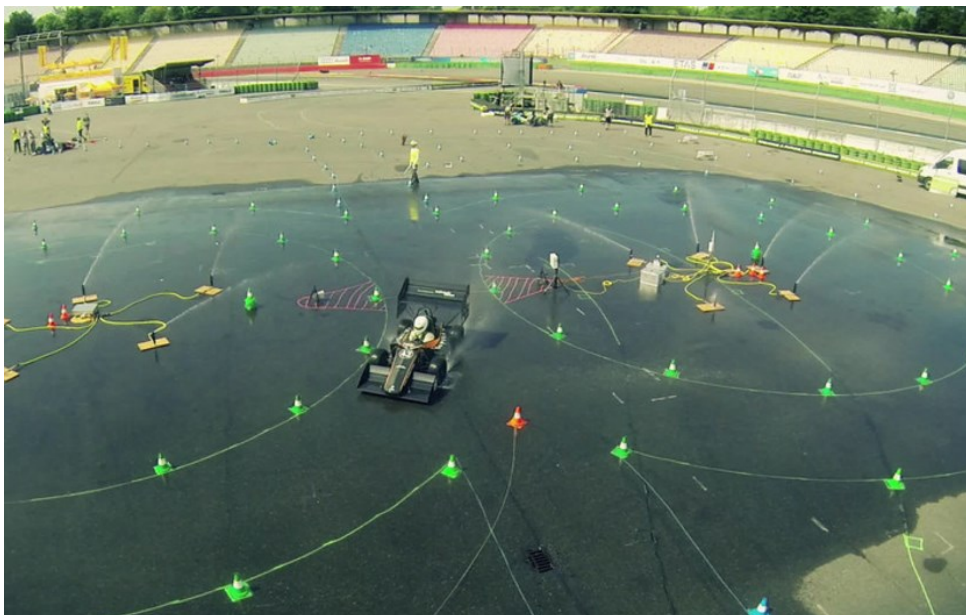
Marketingový plán 75 bodů (business plan)

Hodnotí se zde způsob zpracování business plánu fiktivní malosériové výroby studentské formule a jeho obhajování před porotou.

Dynamické disciplíny

Osmička 50 bodů (skid-pad)

Projetí dráhy ve tvaru 8 [3], jejíž rozměry jsou dány pravidly. Tato disciplína má za úkol otestovat podvozky formulí, hodnotí se zde dosažený čas.



Obrázek 3: Skid-pad Německo (2013) [3]

Akcelerace 75 bodů

Sprint na 75 metrů dlouhé trati s pevným startem. Hodnotí se výsledný čas.

Autokros 150 bodů (autocross)

Tato disciplína slouží jako kvalifikace k hlavnímu závodu. Jede se na úzké trati, vždy po jedné formuli na trati. Zhodnotí se zde dobré nastavení podvozku vozidla, výkon motoru i dobře připravený pilot. Body se udělují dle dosaženého času.

Hlavní závod 350 bodů + 50 bodů za spotřebu paliva (Endurance + Fuel economy)

Hlavní vytrvalostní závod o délce zhruba 22 km. I když se jede se všemi formulemi na trati zároveň, je zde zakázané předjíždění. Předjíždí se ve vyhrazených zónách. V půlce závodu je povinná výměna jezdců. K bodům vypočteným za celkový čas se přidávají body za spotřebu paliva.

Bodové ohodnocení jednotlivých disciplín (maximální)

Konstrukční provedení	150 bodů
Cenová analýza	100 bodů
Marketingový plán	75 bodů
Osmička	50 bodů
Akcelerace	75 bodů
Autokros	150 bodů
Hlavní závod	350 bodů + 50 bodů za spotřebu paliva
Celkem	1000 bodů

Závody postavené na tomto principu donutily konstruktéry Formulí student stavět závodní stroje co nejmenší a nejlehčí, s co největším zrychlením, maximálním rejdem a obratností. Naproti tomu není podstatná maximální rychlost nebo dobrý výhled do všech stran z vozu kvůli předjíždění. Tyto nároky tedy většinu týmů vedou k postavení strojů pokud možno jen lehce přesahující minimální rozměry uvedené v pravidlech, s co největším aerodynamickým paketem. Užití motocyklového motoru se u týmů stalo pravidlem i kvůli limitu zdvihového objemu 600 kubických centimetrů. Jeho nízká váha a kompaktní rozměry ho řadí k nejpoužívanějším motorům. I kvůli nižší hmotnosti se tak pro menší rotační hmoty dnes často využívají převodovky pouze se třemi rychlostními stupni, které jsou voleny pádly pod volantem. Pro nízkou hmotnost se používají ve velké míře karoserie z tenkého kompozitu. Disky z hořčíkových slitin dnes už také nahrazují kompozitní materiály. Snad jen monokok místo klasického trubkového hlavního rámu, používaného ve formuli 1, se zatím především kvůli své vývojové a finanční náročnosti téměř nevyužívá. Pro dnešní závodní stroje jsou typické hlavní hodnoty hmotnosti kolem 200kg a výkon kolem 70kw spolu s krátkým rozvorem a velmi nízko položeným těžištěm. Získáváme tak velmi obratný a rychlý stroj se zrychlením z 0 na 100km/h kolem 3s.

Tým Formula Student, VSB - TU Ostrava

Ostravský tým [4], jež se účastní závodů Formula student, je poměrně malý a mladý. Za dobu svého působení byl jenom na jednom závodě, minulý rok v Mostě, a to pouze s prototypem č. 1. Pro letošní rok však postavil stroj výrazně přesahující vlastnosti a schopnosti prvního prototypu nesoucí název Vector 02. Tento stroj je zhruba o 40kg lehčí, má nový rám a kompletně nové zavěšení kol. Z prototypu č. 1 zůstal motor z motorky Yamaha FZ6 se zdvihovým objemem 599 kubických centimetrů. Tento motor dostal nové

sání vyrobené 3D tiskem s přestavěným výfukem. Změnou prošlo také přepákování tlumičů včetně vzpěrných tyčí z karbonových vláken. Změnila se také celá karoserie s výrazným aerodynamickým paketem. S tímto vozem se tým ostravské studentské formule letos zúčastní závodů v Maďarsku a Itálii. Telemetrii budu dále aplikovat i na toto vozidlo. Bude použita pro zdokonalení řidičů, zefektivnění nastavení podvozkových částí, při testování a také pro dokazování a ověřování simulací zjištěných působících sil od aerodynamického paketu.



Obrázek 4: Tým Formula Student, VSB - TU Ostrava (rollout 2016) [4]

Z toho plynou také hlavní požadavky pro tým. Prvním je snadná montáž/demontáž celého celku, nízká váha, nízko položené těžiště sestavy, rychlý přístup k datům, intuitivní ovládání a také nízká pořizovací cena. Pro zdokonalení řidičů je zásadní uvědomit si, jakou stopu na trati zvolili, kde zvolili brzdné a akcelerační body a také, jaké bylo celkové chování vozu v dané situaci (jestli zatáčku neprobrzdili, nejeli na hraně možností motoru nebo podvozku). Proto by bylo vhodné snímat pozici natočení volantů a sešlápnutí brzdového a plynového pedálu. Pro ověření funkčnosti aerodynamického paketu, ale také pro přesnější nastavení tlumičů a stabilizátorů, bude sloužit měření protlumu přední a zadní nápravy. Ideální přesnost pro toto měření je chyba do 2% při měření protlumu tlumičů.

2.2. Používaná měřicí zařízení

Měřicí zařízení, která se v oblasti motorsportu používají, je možno rozdělit na dvě hlavní skupiny podle jejich stavby a zaměření. Jedná se o modulární a kompaktní systém. Podle potřeby a hlavně rozpočtu si týmy telemetrie buďto navrhují a vyrábějí samy podle svých specifických potřeb nebo, a to mnohem častěji, se rozhodnou pro koupi telemetrie, jejíž

konstrukcí se v dnešní době zabývá již mnoho firem. Pokud hledáme rozdíl mezi těmito systémy, musíme si položit otázku, proč vznikly. Systém založený na GPS modulu je levnější, zjednodušenou variantou modulárního systému. Je použitelný například u středně pokročilého jezdce pro trénink na okruhu nebo pro rychlé měření v terénu bez potřeby složitější instalace modulárního systému. Základní myšlenkou je již zmíněná GPS souřadnice, která se v závislosti na čase pohybuje v prostoru. Díky těmto informacím jsme schopni zjistit nepřímo (výpočtem) například stopu, kterou jezdec na trati použil, aktuální rychlost nebo přibližné hodnoty příčného i podélného zrychlení.

Obecně

Většina výrobců využívá modulárního systému, který zajišťuje možnost všestranného využití daného modelu. Většinou se jedná o základní řídicí jednotku, která shromažďuje data ze senzorů, ukládá je na vnitřní paměť, nebo jiné médium. K této jednotce mohou být připojeny také různé výstupní nebo zobrazovací moduly, nejčastěji display, zobrazující potřebnou snímanou hodnotu. Častým vizualizačním výstupním modulem je zařízení zvané shiftlight, které upozorňuje řidiče na otáčky motoru vhodné k přeřazení. Za tímto signálem můžeme hledat buďto špičku výkonu nebo blížící se konec rozsahu otáček, která je pro motor bezpečná. Moduly se dokupují zvlášť, nebo jsou přiloženy k základní jednotce. Výhodou modulárního systému je, že mohu snímat nebo zobrazovat jen to, co chci, a tím současně snižuji hmotnost a často také pořizovací cenu. V dnešní době jsou také čím dál tím častější systémy přímo kombinující měřená data s vnitřním videozáznamem. Díky této synchronizaci máme komplexnější představu o dění uvnitř i vně vozu.

Dalším systémem je systém založený na velmi přesném Globálním polohovacím systému (GPS). Nazýváme ho kompaktní systém. V jedné jednotce je tedy nejčastěji umístěn GPS modul, zobrazovací display a záznamové médium nebo mechanika pro její vložení. K této jednotce je často možné dokoupit další moduly, díky kterým kterých můžeme sledovat více veličin a přiblížit se tak modulárním systémům. Se zjednodušenou verzí se dnes setkáváme také v aplikacích pro mobilní telefony, které sice nemohou nahradit profesionální telemetrii, ale pro hobby jezdce mohou přinést cenné poznatky o jeho výkonech. U profesionála umožňují srovnání jeho výkonů v různých, třeba zapůjčených vozech, nebo při studiu dříve nenavštívené tratě. Získá základní informace o čase na kolo, brzdných bodech, ideální stopě a další cenné informace, například pro sestavení základního nastavení, pro kvalifikaci na okruhu, nebo srovnání tratě s předchozí simulací. Díky svým, často drobným, rozměrům je možné ho použít jak pro motorky, tak pro motokáry.

Modulární systém je spíše profesionální záležitost, kdy podle potřeby vybereme nutnou sensoriku, kterou může být i GPS modul. Ten však užíváme spíše k orientaci v prostoru a ke zjištění zvolené stopy jezdce. Pro ostatní veličiny, například pro zrychlení

užíváme modulu akcelerometru, GPS modul není, na rozdíl od předchozího systému, nezbytně nutný pro funkci telemetrie.

2.3 Výrobci

Michl motorsport – DLOG

Michl motorsport je český výrobce řídících jednotek motorů pro závodní vozy a v sezóně 2015 mistr Evropy v závodech automobilů do vrchu skupiny E2SH. Součástí nabídky tohoto výrobce jsou telemetrická zařízení DLOG a DLOG lite. Zařízení DLOG [5]:

Jedná se o kompaktní systém, skládající se ze základní jednotky s TFT displayem s rozlišením 320x240 který je možné umístit do výhledu řidiče. Naměřená data se ukládají na USB flash-disk. Výrobce k tomuto modelu dodává software, s jehož pomocí je možno měřená data analyzovat. Základní model disponuje 16ti analogovými a 5ti impulzovými vstupy, které jsou primárně určeny pro měření otáček motoru a pro snímače otáček všech čtyř kol. V hlavní jednotce je umístěn snímač zrychlení, který umí snímat ve třech osách. Jednotka dále obsahuje výstupy pro rychlou signalizaci překročení některých hodnot řidiči (teplota oleje, tlak oleje atp.). Obsahuje také port pro komunikaci s řídící jednotkou motoru ECU MM. Přístroj obsahuje více zobrazovacích módů přesně nastavitelných podle požadavků.



Obrázek 5: Michl motorsport – DLOG [5]

Racelogic Performancebox [6]

Jedná se o zástupce systému založeného na velmi přesném GPS modulu. Je to zařízení, které slouží hlavně k ověření hrubých skutečností probíhajících během jízdy vozidla, nebo středně pokročilému řidiči, jemuž umožňuje zdokonalení jeho technik při jízdě na okruhu. Základní jednotka je snadno připevnitelná za čelní sklo vozu a spolu s přiloženou anténou a adaptérem do zapalovače je rychle připravená k měření. Měření se ukládá na SD kartu. Pracuje za jízdy ve čtyřech zobrazovacích režimech kterými jsou:

- *Performance mode*
Zobrazuje například akceleraci z 0-60km/h, 0-100km/h, zrychlení g, maximální hodnoty g během jízdy, deceleraci a další.
- *Lap timing mode*
Zobrazuje čas současného kola, minulého kola, nejlepšího kola, mezičasy, start a cíl se zadává za pomoci GPS souřadnice, tudíž není potřeba žádných dalších zařízení.
- *Power mode*
Ze zadané celkové hmotnosti vozu dokáže zobrazit přibližný maximální výkon na kolech. Při dodatečné jízdě na volnoběh dopočítá ztráty a výkon motoru.
- *Speed display mode*
Například pro využití v offroad strojích v tomto módu zobrazuje aktuální a maximální rychlost a kompas
- *Predictive Mode*
Dokáže odhadnout výsledný čas dle pozice jednotky v čase a místě na okruhu za pomoci dřívějších jízd.
- *Input module mode*
V tomto módu nám Racelogic sbírá data z modulu vstupů. Ten není součástí základního balení a je třeba jej dokoupit. Já ho budu využívat pro měření otáček motoru, protlumu tlumičů a stlačení pedálů.



Obrázek 6: Racelogic Performancebox [6]

Technická data:

Rychlost		Vzdálenost	
Přesnost	0,1Km/h	Přesnost	3m
Obnovovací frekvence	10Hz	Obnovovací frekvence	10Hz
rozlišení	0,01Km/h	Rozlišení	1cm

Tabulka 1: parametry Racelogic PerformanceBox

Racelogic Vbox IISX [7]

Jedná se o modulární systém telemetrie od firmy Racelogic. V základní verzi je možno vybírat mezi verzí s obnovovací frekvencí 20,10 nebo 5hz. Je vybaven displayem pro zobrazení nejdůležitějších informací o stavu sběru dat, nebo o stavu a pracovním režimu telemetrie. K základnímu přidanému GPS modulu se dá přidat WAAS/EGNOS, korekční GPS stanice pro zpřesnění polohy, kdy výsledná přesnost systému dosahuje hodnot v řádu desítek centimetrů. Data jsou měřena externími moduly, které jsou se základní jednotkou propojeny za pomoci sběrnice CAN. Takto dosáhneme až 16 vstupních signálů a vysoké přesnosti sbíraných hodnot. Obsahuje dva digitální a dva analogové výstupy pro zobrazení a případný přenos měřených veličin do depa. Měření se ukládá na SD kartu.



Obrázek 7: Racelogic Vbox IISX [7]

Rychlost		Vzdálenost	
Přesnost	0,1Km/h	Přesnost	3m
		Přesnost za pomoci přídavných modulů	SABS-1m (evropa) RTCM-40cm
Obnovovací frekvence	20, 10, 5Hz	Obnovovací frekvence	20, 10, 5Hz
Rozlišení	0,01Km/h	Rozlišení	1cm

Tabulka 2: Parametry Racelogic Vbox II Sx

Volba

Při volbě telemetrie, kterou využiji pro měření do své bakalářské práce, jsem zohlednil vlastnosti a schopnosti jednotlivých dostupných telemetrií a vybral Racelogic Performancebox. Vybral jsem ho na základě jeho kompaktního a praktického provedení, rychlé zástavby (na závodech musí být závodní stroj kdykoliv rychle rozebratelný) a možnosti sběru dat bez nutných doplňkových modulů s dostatečnou přesností. Dále pak z toho důvodu, že VŠB-TUO má přístup pouze k telemetrii Racelogic Performancebox a Vbox II SX. Racelogic Vbox II SX by byl pravděpodobně lepší variantou, ale jeho zástavba je náročnější a pro letošní rok by jeho kapacity nebyly plně využity. Navíc máme přístup pouze k základní jednotce a už ne k dalším potřebným modulům.

2.4. Výstupy a použitý software

Telemetrii do vozů montujeme, abychom měli co nejlepší přehled o dění ve vozidle v daném čase. Pokud použijeme například analogových vstupů pro měření dané veličiny, budeme potřebovat buďto potenciometr, infračervený senzor nebo jiné zařízení, které umí

snímat námi požadovanou veličinu a bude disponovat lineárním výstupem. Pokud data naměřená telemetrií převedeme do softwaru, zpravidla od výrobce dané telemetrie, zpočátku většinou stejně narazíme na problém, že primárním výstupem telemetrie je, v závislosti na použitém měřicím systému a použitých vstupních napětích, většinou jen 0-12V. Při zanesení závislosti na čase dostáváme křivku průběhu sledované veličiny v čase.

To nám ale pořád o tom, co se děje s vozem, neříká prakticky nic. Proto ve většině softwarů používaných pro analýzu telemetrických dat nalézáme nejrůznější převodníky pro převedení elektrických signálů na skutečné veličiny. Zadání potřebného poměru pro měření je ale potřeba nejprve zjistit. Například u mnou měřeného protlumu tlumičů nejprve zjistím, kolik voltů připadá reálnému zdvihu tlumiče. Na základě tohoto údaje a znalosti tuhosti pružiny mohu například přepočtem zjistit, jaká síla působí v daný moment na tlumič, a tedy i na kolo vozu. Obdobným způsobem mohu zjistit vliv působících sil aerodynamického paketu. Výstup tohoto měření a následně přepočet vlastností nám pro většinu telemetrických softwarů [6] umožňuje graf nebo tabulky s měřenými hodnotami. Často se ale můžeme setkat i s exportem do excelovského formátu pro další práci, nebo do formátu .txt.



Obrázek 8: Analytické prostředí Circuit tools [8]

Další možností, jak naměřená data prezentovat, je pomocí upraveného videozáznamu [7]. Tento způsob je v dnešní době nejčastější hlavně pro svoji názornost. Používá se záznam z kamer umístěných různě na vozidle. Například na helmě závodníka, pohled zezadu vozu a pohled na nápravu nebo jiné sledované místo. Následně se tyto záznamy

spojí jako jeden hlavní a dva vedlejší a do volného místa je možno přidat i graficky znázorněné sledované údaje (sešlápnutí brzdového nebo plynového pedálu apod.). Tento druh prezentace je výborný hlavně pro výuku pilotů, kteří přesně vidí, kde sešlápli plynový pedál brzy, a tudíž došlo ke smyku, nebo jak zvládli projetí zatáčky. Lze také zjistit, jak se vůz chová při průjezdu složitějších úseků a tyto údaje použít spolu s pocity a vjemy z jízdy a přímo je konfrontovat s technikem zodpovědným za nastavení vozu. Ten potom může například na základě zatížení pneumatik upravit nastavení stabilizátorů nebo přítlaku aerodynamického balení.



Obrázek 9: Videoprojekce telemetrie týmu LSU Tiger Racing [9]

Ve své bakalářské práci se zaměřím hlavně na výstup za pomoci videozáznamu, který bude často využíván do budoucna na testování Vectoru 02. Na závodech pak bude sloužit pro vytvoření modelu trati pro simulátor, na kterém se budou piloti zlepšovat a mohla by také sloužit pro představu nových členů o Formuli student při náboru. Snahou bude celý proces tvorby výsledného záznamu co nejvíc zautomatizovat, nebo najít nejrychlejší postup pro tvorbu nových prezentací.

3 Návrh metodiky měření a zpracování dat

3.1 Vize

. Vzhledem k tomu, že při návrhu Vectoru 02 jsme vycházeli hlavně z teoretických hodnot zatížení náprav a karoserie, bude záměrem zjistit alespoň základní jízdní charakteristiku formule se zatížením jednotlivých kol při průjezdu závodní tratí. Dalším krokem bude výběr takových měřených veličin, které by nám udávaly základní charakteristiky tratě, a to hlavně její profil a průměrné rychlosti. V neposlední řadě by měla telemetrie na naší formuli sloužit pro zdokonalování schopností našich pilotů a pro nastavení vozu při testování. Mezi základní hodnoty proto řadím příčné i podélné zrychlení g, rychlost, polohu na trati, otáčky motoru, zařazený rychlostní stupeň, úhel natočení volantu, propad brzdového a plynového pedálu, zdvih každého kola a teploty pneumatik na více místech běhounu. Tím bychom si mohli ověřit správnost nastavení podvozku.

Po seznámení se s funkcemi dostupné telemetrie Racelogic Performancebox a přídatného modulu Microinput module je jasné, že budeme omezeni počty vstupů do jednotky. Performance box bez přídatné jednotky dokáže zjišťovat velmi přesně polohu za pomoci GPS signálu. Takto nám nepřímou udává rychlost a příčné i podélné zrychlení g. Přídatná jednotka je k hlavnímu modulu připojena za pomoci standardizovaného aux kabelu. Omezení přichází v počtu vstupů do jednotky, ta totiž obsahuje pouze 4x analogový vstup 0-14V a 1x RPM vstup pro snímání otáček motoru. Díky tomuto omezení jsem musel zvolit pouze 4 měřené veličiny z původních 8, pokud nepočítám teplotu pneumatik. Pro kompromis mezi zdokonalováním povědomí o silách působících na vozidlo a tréninkem pilotů jsem zařadil mezi měřené veličiny propad plynového, brzdového pedálu a zdvih pravého i levého předního kola.

Při tomto nastavení budeme pak telemetrii využívat hojně při tréninku, na závodech i pro zpětné vyhodnocení a při návrhu dalšího prototypu. Zjištěné hodnoty protlumu kol, respektive zdvihů tlumičů, v konkrétní situaci můžeme využít například pro přesnější nastavení stabilizátorů nebo samotných tlumičů. Zjistíme, jak přesně se chová zavěšení při průjezdu určitým druhem zatáčky, nebo jak reaguje na nerovnosti. V kombinaci s hodnotou stlačeného brzdového pedálu poznáme, jak se chovalo zavěšení pod brzdami nebo pod plynem. Pokud k těmto informacím přidáme polohu na trati v daném okamžiku, neboli zjistíme zvolenou stopu průjezdu jezdce tratí, uvidíme, která stopa je nejvhodnější pro průjezd tratě a s tím spojené přesné brzdné a akcelerační body pilota. Nejdůležitější pak budou data naměřená přímo na závodech. Tyto informace můžeme využít nejen pro přímý

výcvik pilotů, ale také k vylepšení tratě a vozidla v počítačovém simulátoru formule a o krok se tím přiblížit reálným podmínkám závodů FSAE.

3.2 Prvotní návrh

Vzhledem k tomu, že je prototyp formule stále ve vývoji, ověřím si některé základní prvky na jiném voze a následně navrhnu nejlepší řešení, použitelné pro Formuli student. Pro testování navrhované metodiky měření budu využívat plochy nedalekého sportovního letiště a použiji svůj vůz Nissan 200sx s13 s motorem ca18det. Hlavním úkolem testování bude vyvinout měřicí jednotku s dostatečnou přesností pro měření propadu tlumičů i pedálů. Snahou bude použít stejnou jednotku pro všechny měřené prvky. Jednotka by měla být do značné míry odolná vůči vodě, prachu, mechanickému poškození a v ideálnějším případě by měla mít také takové vlastnosti, aby se dala použít k měření protlumu zadních tlumičů.

V prvním kroku budu zkoušet, jak se chová samotná jednotka Racelogic Performance box. S jakou přesností měří, jak se chová při použití v různých vozidlech a její ovlivnitelnost při různém počasí. Dále budu sledovat jakým způsobem Racelogic zaznamenává data a zdali bude možné nějak jednoduše rozlišit od sebe jednotlivé jízdy. V dalším kroku zjistím, jakým způsobem vypisuje program jednotlivé měřené veličiny, v jakých souborech je ukládá a jestli je možné tyto soubory využít v jiných programech mimo Racelogic. Následně připojím k základnímu modulu přídatnou jednotku microinput module. Za pomoci potenciometru s danými parametry, byť s nevhodnou konstrukcí vyzkouším, jak přídatná jednotka zapisuje data, a jakým způsobem je budu moci vyhodnocovat. Pomocí takto nabytých informací začnu vybírat vhodný potenciometr pro měřicí jednotku a jeho zástavbu. Tuto jednotku budu následně ověřovat na testovací dráze mezi kužely a na obslužných cestách zmíněného letiště, které jsou smíšeného charakteru, včetně cest šterkových, kde vyzkouším její mechanickou odolnost. Nakonec vyzkouším některé z možných vizuálních zobrazení a prezentací a také převodník z měřených veličin na potřebné jednotky.

3.3 Testování

Jednotku jsem instaloval do vozu Nissan. Jednotka Racelogic uvádí přesnost stanovení polohy za pomoci GPS signálu 3m. Tato přesnost se zdá být reálná, v dobrých podmínkách i lepší. Pokud vozidlo stojí, určení polohy kmitá při slunném počasí kolem jednoho bodu v řádech centimetrů. Při měření za deště nebo vyšší oblačnosti se kvalita zhoršuje, až ke kmitání kolem dvou metrů. To může být způsobeno i tím, že GPS anténu jsem při dešti raději schoval ze střechy pod čelní sklo automobilu. Opakovaným měřením za slunného počasí, kdy byla anténa pod čelním sklem nebo na střeše, jsem zjistil, že na měření má umístění antény minimální vliv. Nepřesnost se zvětšila v řádech centimetrů. Pro

přirovnání jsem zkusil měřit odchylky také za pomoci aplikace RaceChrono v mobilním telefonu Huawei Y550. Tady se odchylka při měření v klidu pohybovala v řádech metrů za ideálních podmínek a za zhoršených podmínek bylo kmitání kolem jednoho bodu v rozsahu až 100 metrů. Racelogic jsem potom nainstaloval do vozu Mazda MX-5 NA Miata. Rozdíl v datech odpovídal rozdílným charakterům testovaných vozidel. Ke zhoršení kvality signálu nikterak nedošlo. Nutno podotknout, že vůz Mazda je Kabriolet, tudíž anténa pro Racelogic byla umístěna na plátěné střeše stejně jako u vozu Nissan za pomoci magnetu, který anténa obsahuje. Postupně byly orientačně vyzkoušeny všechny módy, ve kterých umí jednotka pracovat.



Obrázek 10: Fotografie z testování [10]

Za zmínku stojí například Power mode, který umí změřit maximální výkon vozidla na základě ujeté dráhy za čas, přesně změřené hmotnosti vozidla a za předpokladu, že je povrch ideálně přilnavý rovný, a že na vozidlo nepůsobí žádné vnější vlivy. Měření probíhá podobně jako dynamická měření na motorové válcové zkušebně a to tak, že při zařazeném druhém rychlostním stupni akcelerují pod plným plynem až po omezovač otáček. Přitom jednotka určí maximální výkon na kolech. Pro měření výkonu na klikové hřídeli motoru je třeba najet na měřenou dráhu ještě jednou a při omezovači v druhém rychlostním stupni sešlápnout spojku, vyřadit a nechat vozidlo postupně decelerovat. Pomocí tohoto měření jednotka dopočítá ztráty a určí maximální výkon na klikové hřídeli. Výrobce uvádí přesnost tohoto měření zhruba 5%. Tímto způsobem byla změřena obě dvě vozidla. U vozidla Nissan byla maximální hodnota na klikové hřídeli 149kw, což oproti sériovému stavu znamená nárůst výkonu o 25kw. To zhruba odpovídá úpravám, kterým toto vozidlo prošlo (úprava řídicí jednotky, větší turbo, větší vstřikovače, sací a výfukové vedení a další). U vozidla Mazda bylo naměřeno 71kw, což proti původním 85kw znamená ztrátu o 14kw. To taktéž odpovídá stáří vozu a stavu motoru, zejména jeho pístním kroužkům. Tato měření byla

několikrát opakována pro zjištění chyby. Ta dosáhla zhruba 3,5%, což je v toleranci udané výrobcem.

Při testovacích jízdách jsem nakroužil po letišti a na trati mezi kužely a pneumatikami bezmála 20km [8]. Během této doby jsem zkusil změřit průjezdy po simulované trati ze začátku za sucha a ke konci za prudkého deště. Časy na kolo a přepínání dalších jednotlivých měřících režimů Racelogic umí měřit jak se vsunutou a zformátovanou SD kartou tak i bez ní. Při měření s SD kartou se zobrazování měřených režimů soustředí hlavně na základní informace a potřebné informace ohledně záznamu. Při měření bez SD karty pak zobrazuje všechny zásadní a nejvyhledávanější parametry, nelze je již zpětně jakkoli vyhledat. Výjimku tvoří Power mode. Ten na SD kartu nezapíše vůbec, zobrazuje na konci měření pouze maximální dosažený výkon, ba naopak při vložení karty jsme ochuzeni o možnost měření výkonu na klikové hřídeli. Racelogic jsem posléze přemontoval ze standardní pozice za čelním sklem [9] do kolmé pozice pod palubní desku do prostoru nohou spolujezdce a ven vyvedl pouze anténu. Ani tato pozice nijak neovlivňovala měření, což je výhodné z hlediska instalace jednotky do studentské formule, kde se jako nejpravděpodobnější umístění zatím jeví za předním firewallem.



Obrázek 11: Fotografie instalace měřícího zařízení [11]

Micro input module

Micro input module je přídatná jednotka, která není součástí základního balení Racelogic Performancebox. Je nepostradatelná, pokud potřebujeme rozšířit naše měřené parametry z velmi obecných na konkrétní. Jednotka Micro input module komunikuje se základní jednotkou za pomoci rozhraní CAN bus nebo RS232 a je tak kompatibilní jak s jednotkami Driftbox, Performancebox, tak i s jednotkami Vbox a dalšími od stejnojmenného výrobce. Pro měření potřebných veličin nám poslouží čtyři analogové vstupy o vstupním napětí 0-14,5V s přesností 0,03V a jeden impulzní (digitální vstup) o maximálním zatížení $\pm 200V$ a maximální frekvenci 666Hz, který je také schopný měřit digitální signály, například 5V TTL a 0-12V pulzů. Obsahuje také dvě informativní diody, které podávají informaci o tom, zda jsou vstupy využívány.



Obrázek 12: potenciometry firmy Penny & Giles [12]

Měřicí zařízení

V zásadě se při výběru měřicí techniky dá postupovat dvěma způsoby. První možností je použít měřicí zařízení, která se pro účely motorsportu vyrábějí a víme, že budou svoji funkci zastávat zodpovědně. Jako příklad lze uvést lineární potenciometry firmy Penny & Giles [12], jejichž cena ale bývá často vysoká. Předností této varianty je snadná montáž a rychlá výměna, nevýhodou však hmotnost, která bývá díky příliš robustní konstrukci vyšší, než u dále zmíněného postupu. Tím je použití vlastního měřicího zařízení, vyrobeného pomocí základních elektronických součástek, využití lehké konstrukce pro zástavbu celého systému a přenos pohybu od pedálu, přepákování tlumičů k potenciometru. Pro mou

aplikaci použiji postup druhý, při kterém bych rád ověřil jeho přínos, tedy snížení hmotnosti a finančních nákladů. Pro ověření tohoto návrhu sestrojím měřicí zařízení protlumu pravého předního kola vozu Nissan.

Z elektronických součástek bylo nejdůležitější vybrat správný potenciometr. Ten by měl být levný, robustní, při tom ale dostatečně lehký a ideálně co nejvíce odolný vůči prachu. Pro výběr potenciometru byla zpočátku určujícím parametrem doporučená hodnota vnitřního odporu daná výrobcem. Tato hodnota činí $4\text{M}\Omega$. Potenciometr, který by této hodnotě odpovídal, je však na našem trhu prakticky nedostupný. Potenciometr blíží se této hodnotě nejvíce je $5\text{M}\Omega$ a $1\text{M}\Omega$. První varianta je méně častá, takže vzhledem k dostupnosti náhradních dílů volím potenciometr axiální s dráhou 280° o hodnotě vnitřního odporu $1\text{M}\Omega$, výrobce ABElektronik [13]



Obrázek 13: Použitý axiální lineární potenciometr ABElektronik [13]

Mechanickou část bude tvořit obal z plastu, do jehož víčka nainstalují potenciometr. Pro přepákování použiji kovové rameno připevněné na ose potenciometru a za pomoci modelářských ok o rozměrech 3mm budu přenášet pohyb od ramene k potenciometru. Takto vytvořenou sestavu [14] propojím odstíněným kabelem k Micro input modulu umístěnému na přístrojové desce vozu.



Obrázek 14: Instalace prototypu měřicího zařízení ve voze Nissan [14]

Měření

Před měřením na letišti jsem zkusil postupně spouštět karoserii na hydraulickém zvedáku po 1mm a zatěžovat tak přední kolo při zapnuté telemetrii. Zjistil jsem tak závislost protlumu kola k naměřeným hodnotám telemetrii. Tyto hodnoty budu dále využívat v programu RaceRender k přepočtu a vizualizaci výsledků. Pro následná měření jsem sestavil trať mezi pneumatikami na letišti. Stavěl jsem ji podle vzoru FSAE. Výsledná trať [15] je dlouhá 373m s průměrnou rychlostí 43km/h. Hlavním cílem bylo zjistit přesnost měření a simulovat podmínky na závodech Formula student. Celkem jsem najezdil přes 160 měřených kol se dvěma nastaveními tuhosti tlumičů.



Obrázek 15: Profil testovací tratě [15]

Analýza dat

Pro analýzu nahraných dat lze využít dva programy dodané přímo od výrobce. Jedná se o Racelogic Circuittools a Racelogic Performance tools. Performance tools je jednodušší, obsahuje hlavně nástroje pro správu měřených dat a jejich jednoduché

vykreslování. Circuittools je sofistikovanější, zaměřený spíše na analýzu přímo pro potřeby měření z okruhu. Má například databázi mnoha známých okruhů, včetně brněnského, do kterých se dají naše měřená data vnášet. Tyto informace se hodí například při analýze jízdní stopy, protože databáze obsahuje také satelitní snímky těchto okruhů, na které naši stopu snadno promítneme. Ostatní trasy, které jsou naměřeny za pomoci telemetrie Racelogic, se dají exportovat do Google maps. Z tohoto softwaru budu využívat také grafy pro přesnější znázornění některých veličin. Například špičky propružení tlumičů ve speciálních situacích jako jsou brždění nebo prudké zatáčení.



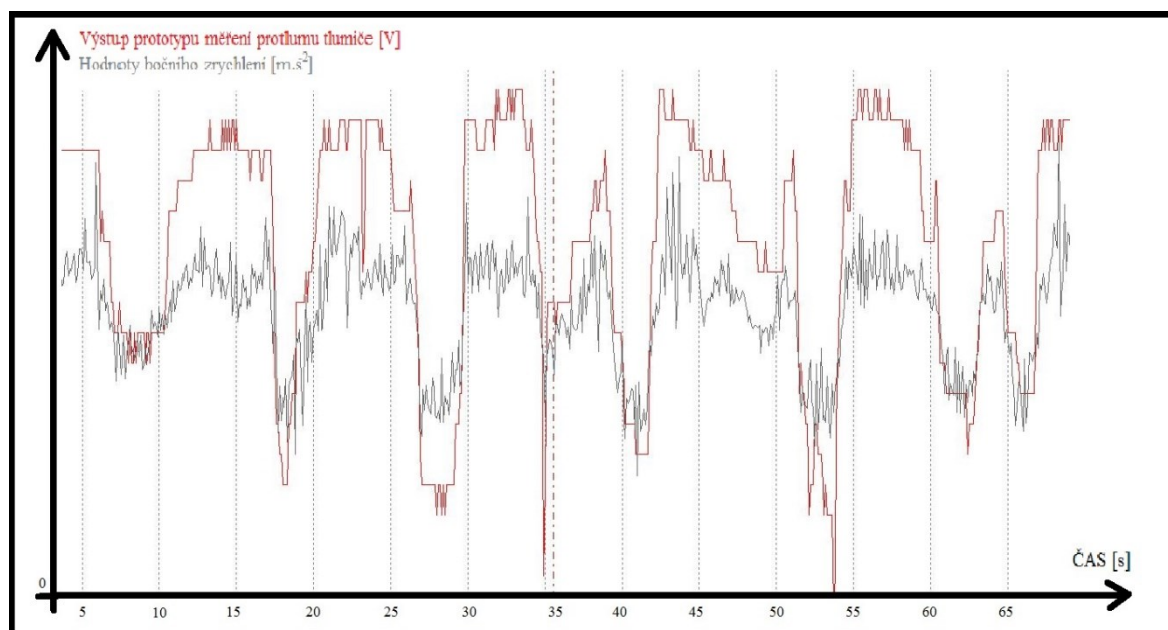
Obrázek 16: Snímek z výsledného telemetrického videa [16]

Pro video analýzu budu využívat software RaceRender 3. Tento program dokáže propojit jakékoliv video a data z telemetrie, která vystupují ve formátu DBN. Ve vývojovém prostředí můžeme nadefinovat přepočty měřených hodnot na námi požadované hodnoty, upravit jednotky a nastavit výstupní zobrazovatele. Umí také vložit do videa zobrazovač již upravených hodnot ve formátu Microsoft Excel. Pro záznam videa budu využívat školní outdoorové kamery GoPro Hero.

Pro ověření navržené metodiky měření včetně výsledného video výstupu jsem vytvořil video z testování na voze Nissan s prototypem měřící sestavy. Použil jsem dvě kamery. První snímala dění v kabině vozu a skrze čelní okno také dění před vozem. Druhá kamera snímala pohyb ramene kola s prototypem měřící jednotky protlumu. Na snímku [16] je vidět zleva stlačení tlumiče v mm, profil tratě s aktuálním pozicí vozu. Nad profilem trati se nachází ukazatel vstupní informace z potenciometru ve voltech. Další ukazatel je rychloměr a poslední dva jsou zobrazovače přetížení. Video je přiloženo v příloze na CD.

Vyhodnocení návrhu metodiky měření

Po naměření hodnot z tréninkových okruhů na letišti jsem postupně vyhodnotil všechna naměřená data a dále upravil a vytvořil grafy závislostí protlumu pravého předního kola v čase. Výsledky prvního měření ale nebyly zcela ideální. Z grafů vyplynulo, že zvolený měřicí systém nemá dostatečnou přesnost v pracovním pásmu tlumiče. Maximální rozsah potenciometru nebyl zcela využit. Použitý potenciometr s chodem 280° je totiž omezen přepákováním na pracovní rozsah 120° , aby nedošlo k prokřížení přepákování. Tlumič v autě v reálném provozu také nevyužívá plný rozsah protlumu. S tvrdším sportovním podvozkem je ale na testované dráze rozdíl průměrného maxima a minima protlumu zhruba 10-15cm. To znamená, že rameno potenciometru pracuje na dráze zhruba 20° což je 14x méně než původní rozsah. To způsobuje omezení na výstupu telemetrie na zhruba 0,85V. Po zvážení přesnosti přístroje (0,03V) a připočtení rušení od použitého zdroje, znamená rušení zhruba 0,07V. Takto byl získán výsledný počet kroků, který činí 13. Tyto hodnoty potvrzují původní odůvodnění skokového charakteru naměřených hodnot v grafu. Pro odstranění takto vzniklých nepřesností bude třeba použít buďto axiální potenciometr s kratším chodem, nebo potenciometr a měřicí zařízení s vyšší citlivostí. Další možností by bylo použití místo axiálního potenciometru potenciometry tahové a od nich táhla k ramenu.



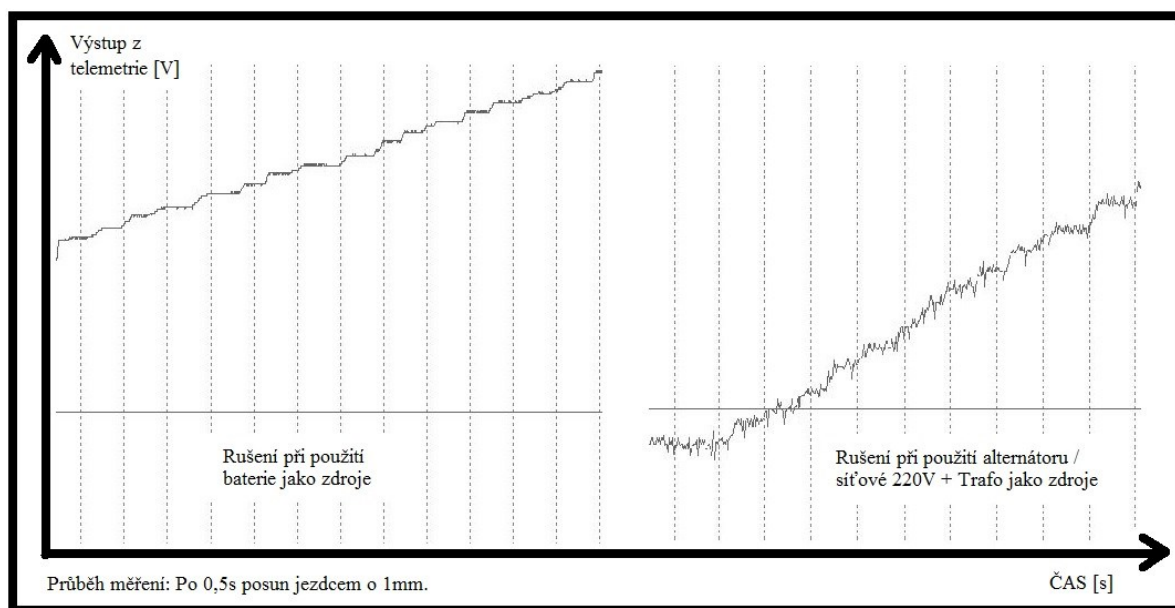
Graf 1: Graf z prvního měření na vozu Nissan s jasným skokovým charakterem

Úprava měřicího zařízení

Z výše uvedených důvodů je nutné upravit přesnost měřicího zařízení. Pro ověření funkce aerodynamického balení by byla ideální přesnost měření 0,5mm na chodu tlumiče. Záměrem je snížit chybu měření pod 1%. Možnosti jak tuto chybu snížit jsem uvedl výše. Axiální potenciometry s kratším chodem nejsou zpravidla na trhu dostupné, proto jsem

z důvodu možné potřeby náhradních dílů tuto variantu vyřadil. Přesnější měřicí zařízení by bylo drahé a ne tolik efektivní. Proto použiji variantu s tahovými potenciometry s lineárním chodem.

Pro ověření upravené metodiky měření jsem použil lineární potenciometr o délce zdvihu 60mm a hodnotou vnitřního odporu $1\text{M}\Omega$. Při zapnuté telemetrii napájené síťovým zdrojem jsem postupně posouval po 1mm jezdcem potenciometru a simuloval tak postupné zatěžování vozu a protlumu tlumiče. Naměřené hodnoty jsem opět převedl do grafu. Tyto hodnoty vypadaly lépe než hodnoty naměřené na voze Nissan za pomoci axiálního potenciometru. Skokový efekt při plynulém protlumu byl sice odstraněn, ale byla naměřena vysoká míra šumu při klidovém stavu. Nepřesnost měření by při použití tohoto potenciometru dosahovala zhruba 2mm na délce zdvihu tlumiče. Vysokou míru šumu způsobovalo požití trafo zdroje ze sítě 220V, které napájelo telemetrii. Po připojení telemetrie na standardní autobaterii se míra šumu snížila na hodnotu udávanou výrobcem, tedy na 0,03V. Hodnota šumu se zvýšila také při připojení do zásuvky zapalovače ve voze Nissan, kde byl jako hlavní zdroj použit alternátor. S ohledem na tyto skutečnosti použiji pro aplikaci na Formuli student vlastní přídavný bateriový zdroj, který bude používán výhradně pro napájení telemetrie. Tento zdroj bude umístěn v blízkosti hlavní řídicí jednotky a co nejnižší pro celkové snížení těžiště formule.



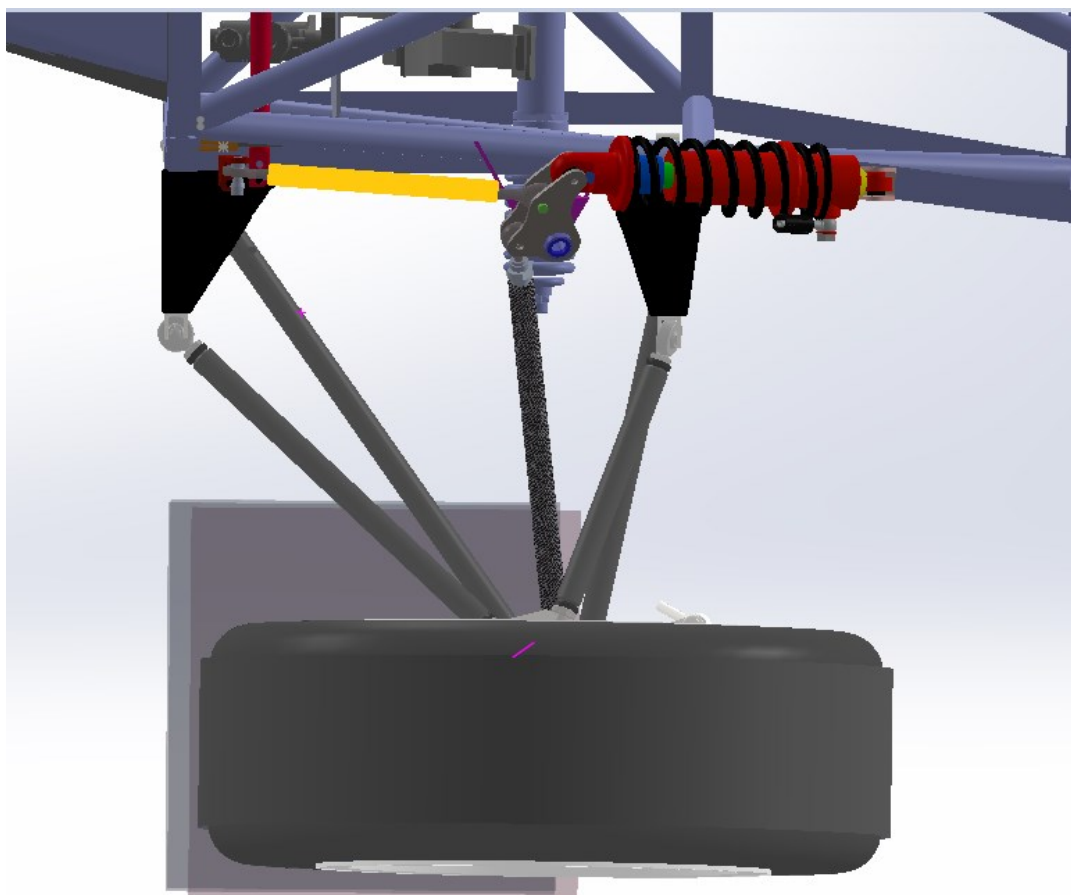
Graf 2: Rozdíl rušení při použití různých zdrojů napájení

Pro další měření jsem tedy zvolil opět lineární tahový potenciometr s vnitřním odporem $1\text{M}\Omega$. Tentokrát ovšem s délkou chodu 100mm. Jako zdroj napětí jsem použil vlastní externí baterii, která napájela pouze telemetrii. Poté jsem postupně pohyboval při zapnuté telemetrii s jezdcem po jednom mm a naměřil tak výsledné hodnoty. Při použití tohoto potenciometru bude nutné použít prodlužovací nástavec na stávajícím vahadle, ten ovšem dopomůže

přesnosti celé sestavy. Tímto měřením, jsem zjistil hodnotu přesnosti, která odpovídá 0,2mm na zdvihu tlumiče. Tato hodnota je pro moje účely naprosto dostačující, a proto tuto metodiku měření použiji na voze Vector02.

4 Aplikace a ověření metodiky měření

Jak jsem již dříve zmínil, navrženou metodiku měření budu aplikovat na voze Týmu Formula student VŠB – Vector02, kde budeme měřit protlum předních kol, otáčky motoru a sešlápnutí plynového a brzdového pedálu. Tento vůz má hlavní trubkový rám, na kterém je připevněno vše ostatní. Přední náprava je lichoběžníkové koncepce s tlumicí jednotkou upevněnou na rámu a přes vahadlo a vzpěrnou tyč přivedenou k těhlici [17]. Pro snímání polohy tlumiče budou použity lineární potenciometry o délce chodu 100mm a vnitřním odporu 1M Ω .

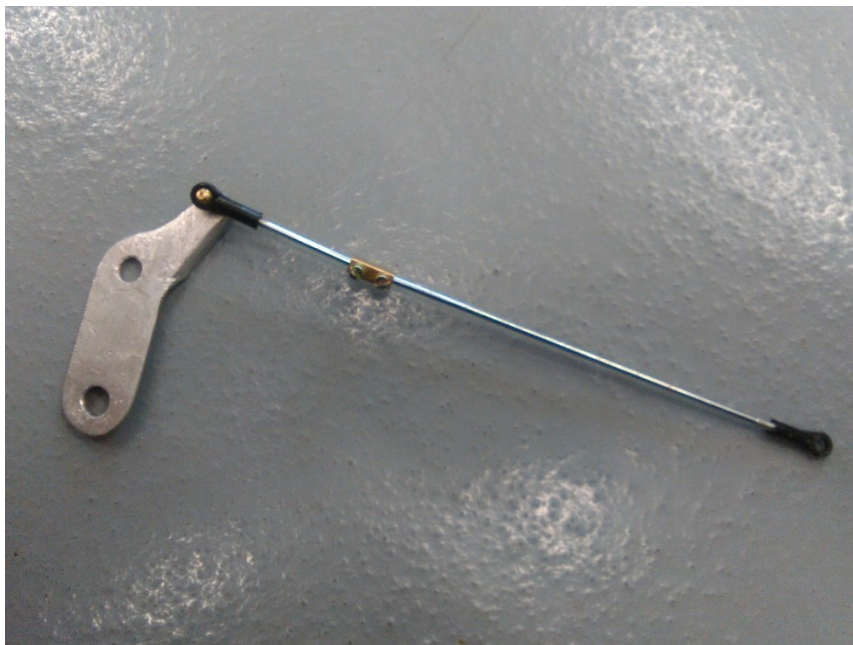


Obrázek 17: Pohled na zavěšení předního kola v programu SolidWorks [17]

4.1 Návrh konstrukce měření zdvihu tlumičů

Potenciometry pro měření zdvihu tlumičů by měly co nejvíce kopírovat chod tlumiče, který je měřen a jeho konstrukce by měla být navržena tak aby byla pevná a neměnná. V našem případě by bylo nevhodné umístit měřící jednotku přímo nad tlumič, kde by bylo měření z pohledu kinematiky nejideálnější z důvodu nedostatku pevných zástavbových bodů. Potenciometr bude tedy umístěn na protilehlé straně vahadla. Jeho pozice bude volena tak, aby zrcadlila tlumicí jednotku na stejné rovině a ve stejné pozici. Jako zdroj

informací o stlačení tlumiče nám poslouží pozice vahadla, která je pevně spjatá kloubovým okem s tlumičem. Při takto zvoleném měřeném prvku můžeme použít pro připevnění potenciometru vzpěru hlavního rámu, která vede od předního oblouku k podélným vzpěrám. Spojení potenciometru s vahadlem provedeme 2mm modelářskými kloubovými oky. Tlumiče od firmy Protlum, které jsou použity na voze Vector02 mají zdvih 70mm.



Obrázek 18: Mezikus pro prodloužení páky vahadla spolu s táhlem [18]

Při použití děr pro šrouby tlumiče, jako bodu pro propojení s potenciometrem, by byla jeho využitá délka také pouze 70mm. Pro zvýšení přesnosti tedy budeme muset upravit stávající bod vložení mezikusu [18] pod šroub tlumiče a vysunout jej tak z obrysu vahadla do vzdálenosti 25mm, při zachování úhlů táhel, zásadních pro správné fungování kinematiky. Tak se zvýší využití dráhy potenciometru na 100mm a tím i přesnost celého měření.



Obrázek 19: Výsledná zástavba měřící jednotky protlumu tlumiče [19]

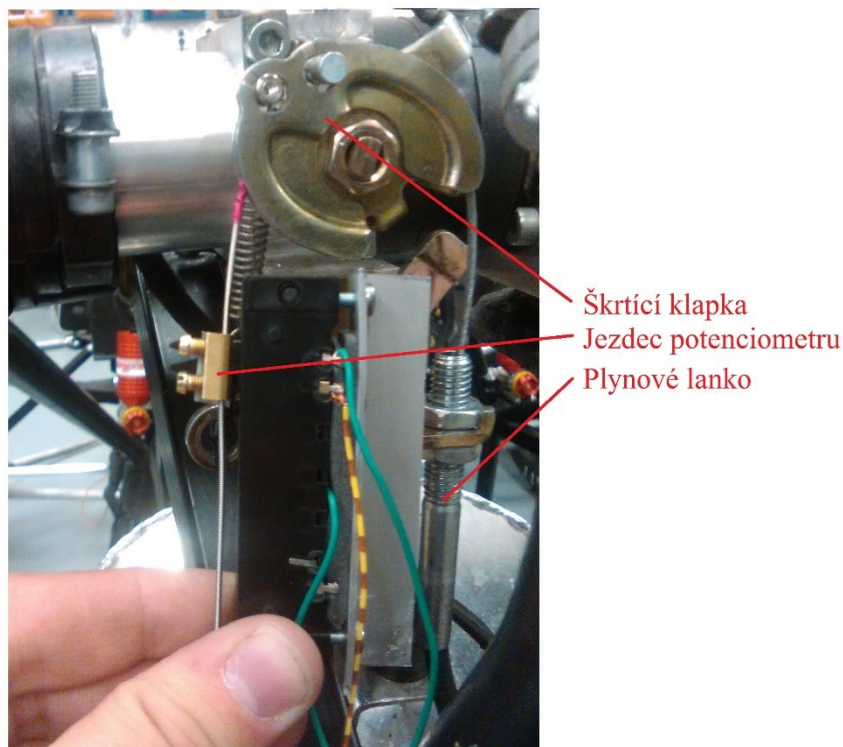
Pro připevnění potenciometru k rámu vozu jsem použil děrované pásky a gumovou ochranu proti nechtěnému posunutí potenciometru nebo poškození rámu. Pásky jsou smontovány pomocí šroubů M3. Stejně, jen s jinou délkou, jsou použity pro montáž potenciometrů. Díky tomuto řešení je potenciometr snadno demontovatelný a plně nastavitelný [19]. To je nutné pro aplikaci na závodním voze, kde každý díl musí být rychle a snadno nastavitelný nebo vyměnitelný. Táhlo opatřené kloubovými oky 2mm má délku 164mm a je nastavitelné pomocí svorky v rozmezí 4mm a závitů na konci kloubových ok dalších 10mm.

4.2 Konstrukce snímače polohy plynového pedálu.

Ke snímání polohy pedálu lze na formuli využít jednu ze tří možností. V první variantě můžeme použít potenciometr pro měření polohy stlačení přímo u pedálu. Při použití této varianty by bylo třeba vytvořit poměrně náročnou konstrukci pro propojení s pedály Titon, jež jsou na naší formuli použity. Rovněž by bylo nutné potenciometr chránit proti mechanickému poškození od nohy jezdce, která by sním byla prakticky neustále v kontaktu. Toto řešení, vzhledem k mechanické náročnosti a váze zavrhuji. Druhé dvě varianty již nebudou využívat přímo plynový pedál, ale polohu škrtící klapky, kterou pedál ovládá. Důvodem je také to, že poloha plynového pedálu nemusí skrze lanko a vůle v bowdenech a na jejich koncích plně odpovídat poloze škrtící klapky, což nás zajímá více. Řidič může mít na pedálu neustále nohu položenou, tím však vymezí pouze vůle v soustavě, ale plyn

nepřidá. Mohlo by pak dojít k nepřesnosti, kdy řidič z citu ví, že pedál stlačený ještě nemá, ale na záznamech z telemetrie mírné stlačení uvidíme. Takto budeme sledovat skutečné přidání plynu pilotem.

Druhá varianta již počítá s měřením škrťací klapky. Využívá stávajícího snímače škrťací klapky TPS, který je umístěn na protilehlé straně řemenice plynového lanka. Snímače TPS používá řídicí jednotka motoru pro dávkování paliva a řízení předstihu. Také proto nebude možné tento snímač použít, protože by hrozilo rušení telemetrií a motorová řídicí jednotka by tak dostávala zkreslené informace.



Obrázek 20: Fotografie ze stavby senzoru polohy škrťací klapky [20]

Poslední variantou, kterou následně použiji pro měření telemetrií, bude snímání polohy škrťací klapky [20] skrze druhou polovinu kladky pro plynové lanko. V této polovině je již prostor pro druhé lanko, které jsem použil a navedl k lineárnímu posuvnému potenciometru připevněnému těsně pod klapkou. U tohoto potenciometru se nepředpokládá žádné větší mechanické namáhání, a proto jsem použil plastový potenciometr. Pro vypnutí lanka a vymezení vůlí je použita modelářská guma pro svou váhu a snadnou dostupnost. Pokud se guma při dalším testování z jakéhokoli důvodu neosvědčí, bude použita tažná pružina.

4.3 Konstrukce snímače polohy brzdového pedálu

Snímání polohy brzdového pedálu je, obdobně jako u pedálu plynového, možno řešit dvěma způsoby. První možností je (například potenciometrem) měřit stlačení samotného brzdového pedálu, tedy měření, jakou brzdovou sílu řidič vyvíjí na kola. Potenciometr by ale

opět musel ležet v ose klopení pedálu, to znamená přímo pod pilotovou patou a bylo by nutné jeho zakrytování. Navíc by bylo třeba zajistit, aby jeho případné poškození nebo odlomení nemělo negativní vliv na brzdění, například vzpříčením potenciometru v pedálovici a jejím zablokování. Z výše uvedených důvodů jsem tuto metodu opět zavrhuji a soustředím se na snímání skutečného brzdného účinku brzd. Toho lze docílit například snímáním tlaku v brzdových hadicích. Výhodou této metody je jednak nižší váha měřicího systému a také efekt odložené nohy pilota. Tento efekt je podobný plynovému pedálu, kdy pilot sice nohu na brzdě položenou má, avšak stále nebrzdí. Brzdit začíná až v momentě, kdy se brzdové destičky dotknou kotoučů a brzdovým válcem se na ně začne zvyšovat přítlak. V tomto případě tak vzroste tlak v brzdovém systému a to je bod skutečného začátku brzdění.

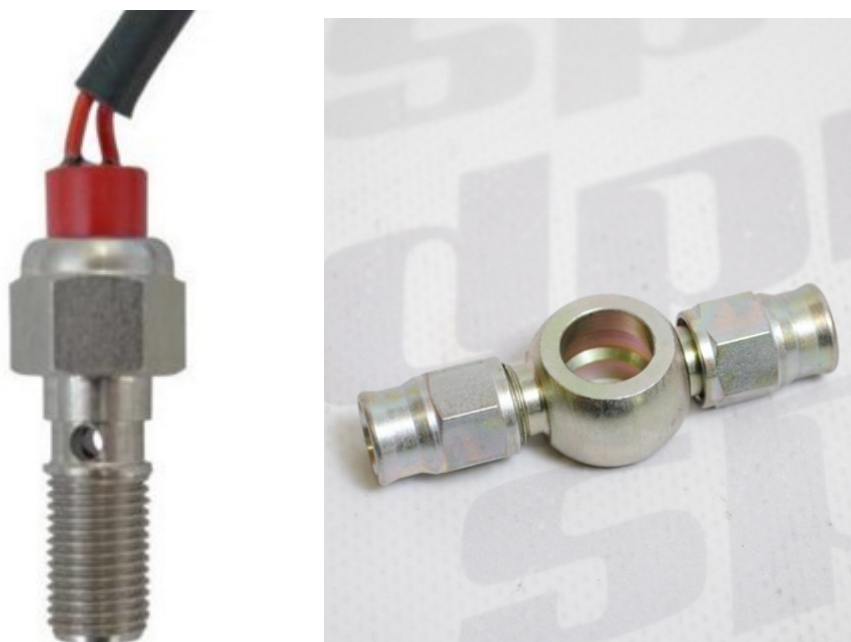
Tlak v hadicích lze snímat v celém rozsahu, aby se zjistilo, jak moc pilot tlačí na brzdový pedál. Pro aplikaci do závodního automobilu ale postačí pouhý spínač, který ukáže, zda pilot brzdí nebo nebrzdí. Je to z toho důvodu, že v závodním voze, pokud pilot nebrzdí naplno, čili na hranici adheze, tak brzdí špatně. Pokud by brzdil například dřív, než je ideální brzdný bod zkrátí by maximální rychlost před zatáčkou a nevyužil by maximálních schopností vozu a čímž by navyšoval čas na kolo. Pokud by naopak brzdil za hranicí adheze, zatáčku by mohl probrzdít a úplně minout ideální stopu nebo dokonce vyjet z trati. Proto nebudeme snímat tlak v brzdových hadicích v plném rozsahu, kdy by potřebný měřicí přístroj byl poměrně velký, těžký a drahý.



Obrázek 21: Původní zapojení dvou průtokových ok a dvojitého šroubu [21]

Místo tohoto přístroje použijeme spínač tlaku brzdových hadic, který se běžně používá u motorek pro spínání brzdových světel. Tento spínač je zabudovaný do

průtokových šroubů, které jsou na hlavních brzdových válcích. Budeme měřit hodnoty na předním brzdovém válci, protože zadní brzdový válec se většinou nastavuje se zpožděním. Na Vectoru02 bylo původně použito na předním válci dvojitého průtokového šroubu a dvou průtokových ok [21] s vedením na pravou a levou stranu zvlášť. Tyto šrouby se spínačem jsou nedostatkové v provedení závitu, který máme na našich válcích (3/8 UNF). Proto jsem použil kromě nízkého šroubu firmy Goodridge s daným závitem, také průtokové oko s dvěma vývody [22] a vedení přestavěl na společnou větev pro přední brzdy.

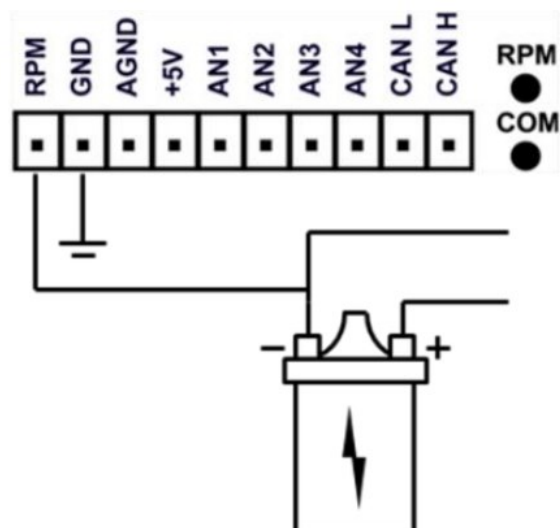


Obrázek 22: Nový průtokový šroub se spínačem a dvojité průtokové oko [22]

4.4 Snímání otáček motoru

Pro lepší představu o chování auta na trati je potřeba znát otáčky v daný moment. Kromě lepší představy o zvoleném jízdním režimu pilota nám přinese cenné poznatky o zvoleném stálém převodu a jednotlivých rychlostních stupních. Ve Formulích FSAE je v posledních letech tendence ubírat rychlostní stupně za cenu nižší váhy. Telemetrie nám proto napoví, jestli by bylo vhodné u příštího prototypu postupovat stejnou cestou.

Pro snímání otáček má jednotka Micro Input Module speciální pulzní vstup, který snímá impulzy vyslané řídicí jednotkou motoru do zapalovacích cívek a z jejich frekvence přepočítává otáčky za minutu. Zapojil jsem je proto dle schématu [23] uvedeného výrobcem.



Obrázek 23: Schéma zapojení RPM vstupu [23]

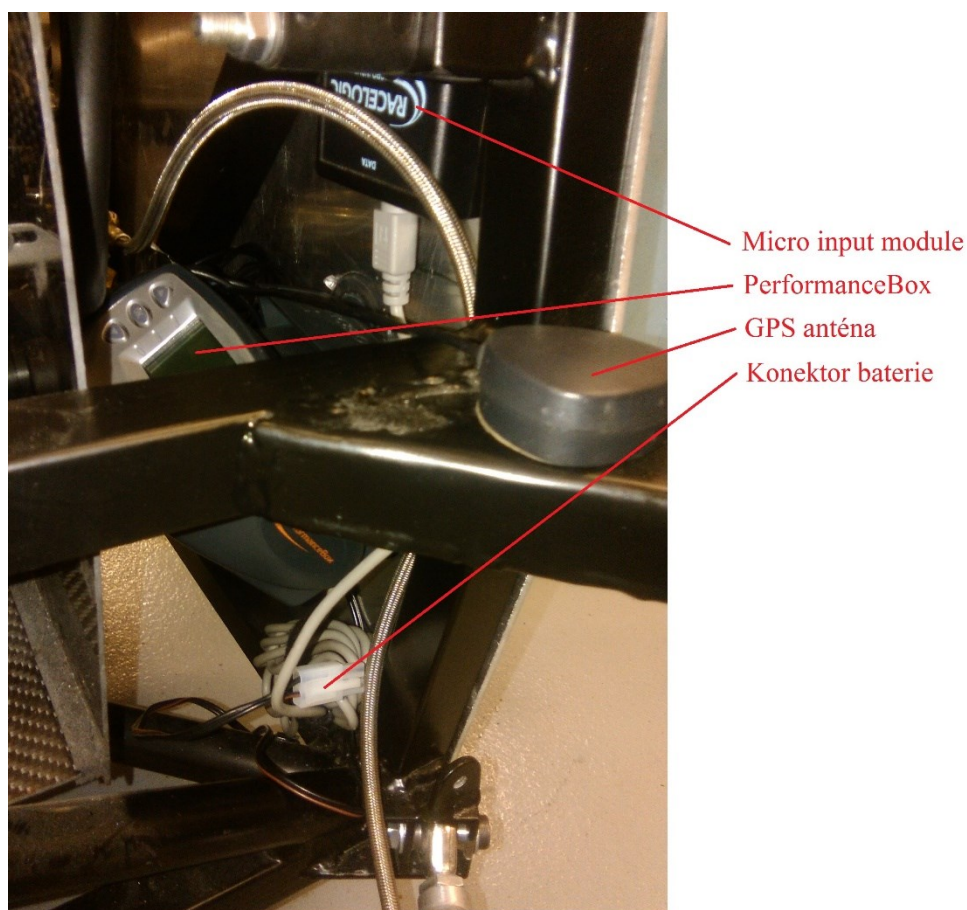
4.5 Zástavba hlavních komponent

Místo pro hlavní komponenty soustavy telemetrie jsem vybíral tak, aby nehrozilo jejich bezprostřední poškození, aby byly co nejnižší kvůli těžišti a aby byly alespoň trochu přístupné. Přístupnost hlavní jednotky není nutná, přístroj se automaticky zapíná po připojení zdroje. Data se dají stahovat za pomoci USB konektoru [24] a k baterii stačí přivést konektor pro napájení. Jako nejvhodnější umístění se proto potvrzuje původní myšlenka zástavby do přední části vozu mezi přepážku oddělující prostor s brzdovými nádobkami a čelním obloukem.



Obrázek 24: USB konektor ukrytý pod palubní deskou vozu [24]

Tato zástavba [25] splňuje myšlenku nízkého těžiště a zároveň posouvá váhu více dopředu a doprava. Tímto způsobem alespoň nepatrně vyrovnává váhu chladičů vlevo a motoru vzadu a přispívá tak k lepšímu vyvážení celého vozu. Nevýhodou je obtížná přístupnost. Telemetrie se ovšem spíná spínačem na palubní desce a data k analýze se stahují konektorem vyvedeným pod palubní desku. Pouze šestičlánková NI-MH baterie sloužící jako napájení telemetrie se musí vždy po ukončení testování vyjmout a nabít.



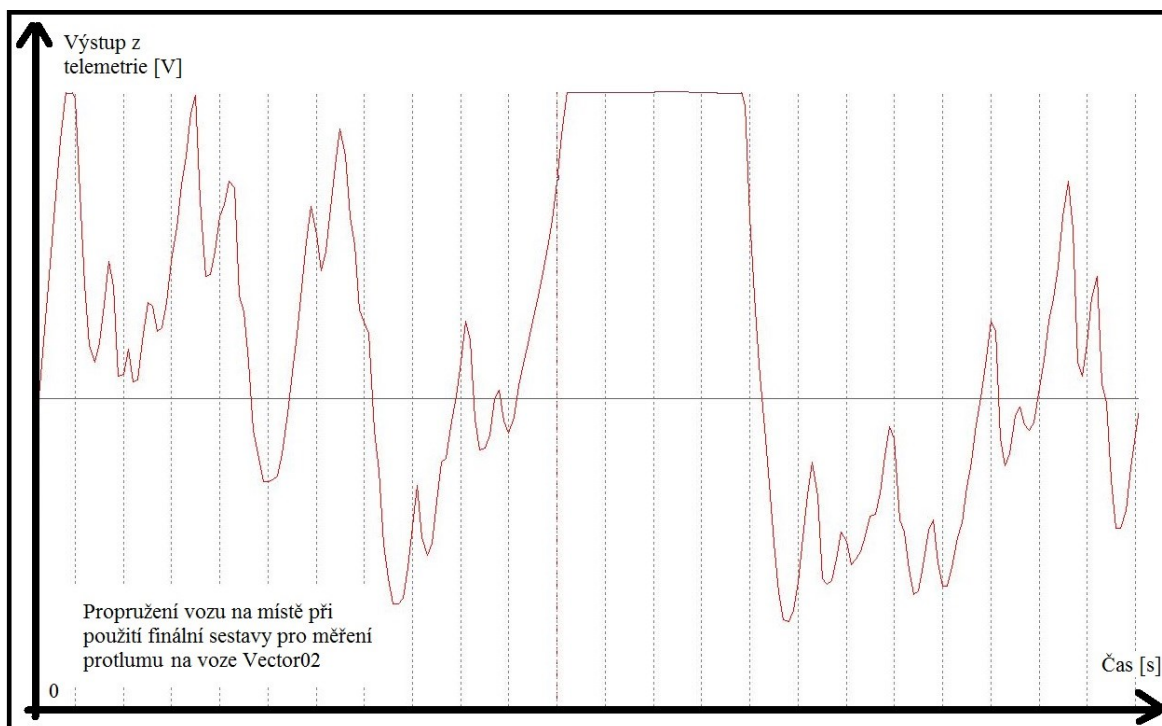
Obrázek 25: Zástavba základních jednotek s baterií a anténou GPS [25]

5 Zhodnocení a doporučení

Kritérií pro celkové zhodnocení konstrukce a zástavby telemetrie pro vůz Vector02 můžeme mít několik. Pro závodní účely bude na prvním místě funkčnost. Telemetrie by měla splňovat požadované nároky na přesnost a spolehlivost. Dalším posuzovaným kritériem typickým pro závodní automobily je hmotnost. Čím je vůz lehčí, tím menší jsou dynamické síly a vůz je rychlejší a ovladatelnější. Posledním neméně důležitým faktorem pro posouzení telemetrie je finanční náročnost.

5.1 Funkčnost

Přesnost měření dosahuje u měření zdvihu tlumičů 0,2mm na tlumiči, tudíž 0,17mm na zdvihu kola. To je dostatečná přesnost pro dokázání funkčnosti aerodynamického balení. Zároveň bylo dosaženo dobré přesnosti i u malé míry šumu při klidovém stavu bez použití filtrů (kondenzátoru). To nám dodá přesnější informace o špičkách, které nastanou i ve velmi krátkém časovém okamžiku, které by jinak filtr utlumil. Měření stlačení plynového a brzdového pedálu nejsou tak důležitá. Pro odhad pilotů bohatě stačí deset pozic stlačení plynového pedálu (otevření škrtící klapky) a to z toho důvodu, že tyto informace budeme používat hlavně pro srovnání vjemu pilota s realitou. Pro brzdový pedál je naprosto dostačující znát pouze stavy brzdy v činnosti nebo brzdy v klidu, viz předchozí kapitola.



Graf 3: Propružení vozu Vector02 na místě

Jako doporučení pro stavbu vozů dalších generací Vector bych z hlediska funkčnosti počítal se zástavbou telemetrie již při stavbě vozu. Vybral bych pro ni jiné místo, lépe přístupné nebo bych přistoupil k použití druhého telemetrického systému, který má škola k dispozici a to Racelogic Vbox II SX. Při použití tohoto systému by také došlo ke zvýšení přesnosti měřených veličin, hlavně při použití externího modulu pro měření reálného zrychlení, tedy již nevyužívat výpočtů zrychlení podle GPS. Tento systém je také mnohem méně prostorově náročný. Dále bychom mohli využít přídatných modulů vstupů, kdy lze při testování snímat například teplotu pneumatik ve třech bodech nebo nejruznější děje v motoru a mít tak ucelenější představu o chování vozu v té dané situaci.

5.2 Hmotnost

Hmotnost Racelogic PerformanceBoxu spolu s Micro input modulem a kabeláží je 378g a hmotnost pohonné baterie je 365g. Hmotnost sestavy měřící jednotky protlumu [26] jednoho tlumiče je 54g. To je o 200g méně než u běžně používaných lineárních potenciometrů bez držáků. Při použití na celém voze u všech čtyř kol by pak mohl být rozdíl v úspoře hmotnosti více než 0,8kg.



Obrázek 26: Měření hmotnosti sestavy měřící jednotky protlumu [26]

Sestava snímání polohy škrtící klapky váží, i díky plastovému potenciometru pouhých 22g. Spínač brzdového světla by byl ve voze namontován, i kdyby v něm nebyla telemetrie, protože bude zároveň spouštět brzdová světla. Výsledná váha je ale i tak nižší

než u původní varianty, díky absenci jednoho průtokového oka. Hmotnost použité kabeláže ke snímačům a napájecí kabel se spínačem činí 210g. Celková váha telemetrie je tak 1083g.

Jako doporučení pro stavbu telemetrie u příštích vozů Formule student bych ke snížení váhy doporučil vytvořit jiný držák telemetrie, nejlépe z karbonu. Jakožto druhou nejtěžší věc bych odlehčil také baterii. Vhodnější by byla baterie typu Li-pol, která bývá v uvedených kapacitách lehčí o 230g.

5.3 Finanční náročnost

Největší finanční úsporu na sestavě telemetrie jsou bezesporu potenciometry snímající protlum předních kol. Běžně používané tahové potenciometry v motorsportu stojí v zahraničí v přepočtu kolem 3900Kč jeden. Mé řešení s nejdražší položkou samotného potenciometru, který stál 160Kč, vyšlo dohromady na 281Kč na jedno kolo. Sestava pro měření pozice škrtkové klapky byla asi nejlevnější, s cenou okolo 70Kč. Celý Racelogic včetně přídatného modulu a kabeláže, jsem již měl k dispozici, proto ho počítat nebudu. Tímto řešením, jsem jen na přední nápravě ušetřil za potenciometry z rozpočtu formule až 5000Kč. Naopak spínač aktivace brzdové soustavy byl poměrně nákladný díl, který s sebou ale přinesl razantní hmotnostní odlehčení. Také má využití nejen pro telemetrii, ale i pro koncové světlo, které je pravidly dáno jako povinné.

Uskutečněním obou dvou předchozích doporučení se finanční náročnost zvýší. Při zakoupení nové baterie se bude jednat pouze o její cenu, protože nabíječ, který je schopný baterie tohoto typu nabíjet, již tým Formula student Ostrava vlastní. Naopak přechod na nový telemetrický systém Vbox by si vyžádal zakoupení více přídatných modulů pro měření a správu dat i senzorické moduly, podle potřebných měřených veličin. Takto by se celková cena telemetrie zvedla i o několik desítek tisíc korun. Jako finanční i hmotnostní úsporu bych pro další generace Vectoru navrhoval sestavit společný snímač polohy škrtkové klapky jak pro motor, tak pro telemetrii. Například stereo potenciometr nebo obdobný potenciometr s dvěma drahami, tak aby se vzájemně neovlivňovaly.

6 Závěr

V mé bakalářské práci jsem se zabýval návrhem telemetrie a její aplikace na vůz Vector02. Pro návrh kvalitního závodního vozu je naprosto zásadní mít představu o silách, které na něj působí a o všech vnějších vlivech kterým je vystavován. V tomto nám pomáhá telemetrie, která je schopná všechny tyto vlivy zaznamenat a předat tak zprávu konstruktérům o funkčnosti jejich návrhu.

V první části mé práce jsem se zaměřil na teoretický rozbor telemetrie a nastudování pravidel závodů formule FSAE. Zaměřil jsem se na běžně používaná měřicí zařízení z oblasti motorsportu a zjistil jsem, jaké jsou druhy a možnosti jednotlivých měřících systémů. Následně jsem vyhledal vhodné výrobce dostupných telemetrií, které jsou na VŠB-TUO. Z možných variant jsem vybral telemetrický systém Racelogic PerformanceBox s Micro input modulem. Dále jsem zjistil, jaké možnosti výstupů a předání informací pilotům a konstruktérům budu moci využívat.

Následně jsem zvolil postup návrhu telemetrie a jejího ověření. Telemetrii jsem nainstaloval do svého vozu Nissan 200sx s13 a vyrobil prototyp snímače protlumu pravého předního kola. Následným testováním jsem vyzkoušel funkce celého systému a také tvorbu výstupů. Odhalil jsem také ale slabá místa telemetrie i prototypu měření protlumu kol. Proto jsem se následně zaměřil na odstranění nedostatků a změnu měřících komponent.

Když jsem dosáhl úpravou původního návrhu požadované přesnosti měření, začal jsem s realizací a aplikací navržené metodiky měření na závodní vůz Vector02. Z poznatků předchozích měření jsem zvolil lineární posuvné potenciometry s delší dráhou chodu pro snímání chodu tlumičů kvůli vyšší přesnosti. Z bezpečnostních, zástavbových a praktických důvodů jsem zvolil snímání stlačení pedálů nepřímého charakteru za pomoci snímače u škrtkové klapky a snímače tlaku brzdové kapaliny.

V závěru mé práce jsem zhodnotil mnou dosažené výsledky. Poukázal jsem na hmotnostní i finanční úsporu při použití vlastní měřicí sestavy místo komerčně nabízených komponentů. Nakonec jsem navrhnul možná vylepšení telemetrie při případné aplikaci na další generaci vozu Vector.

7 Seznam použité literatury

- [1] MATĚJKA, Rostislav. *Vozidla silniční dopravy I*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1978. Dočasné vysokoškolské učebnice.
- [2] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6464-X.
- [3] *RACELOGIC* [online]. Buckingham, 2016 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://www.racelogic.co.uk/index.php/en/>
- [4] MILLIKEN, Douglas L. a William F. MILLIKEN. *Race car vehicle dynamics: problems, answers, and experiments*. Warrendale, PA: SAE International, c2003. ISBN 0768011272.
- [5] *JOSEF MICHL MOTORSPORT: DLOG* [online]. Kuřim: Creative Commons Attribution, 2008 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://www.michl-motorsport.cz/dlog6.html>
- [6] *Formula student germany: FCS 16 rules & important documents*[online]. Sassenburg: mazur | events + media, 2016 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <https://www.formulastudent.de/fsc/2016/rules/>
- [7] *RaceRender: Create Amazing Videos with RaceRender 3!* [online]. RaceRender LLC, 2015 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://racerender.com/RR3/Features.html>
- [8] *Formula Student VŠB-TU Ostrava: Tým Formula Student VŠB-TU Ostrava* [online]. Ostrava, 2016 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://formula.vsb.cz/cs/tym/>

8 Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obrázky

Obrázek 1: Pohled na inženýry Toyota hodnotící telemetrii v průběhu závodu F1 [1].....	11
Obrázek 2: Týmy Formula student na závodě v Německu (2014) [2]	12
Obrázek 3: Skid-pad Německo (2013) [3]	14
Obrázek 4: Tým Formula Student, VSB - TU Ostrava (rollout 2016) [4]	16
Obrázek 5: Michl motorsport – DLOG [5]	18
Obrázek 6: Racelogic Performancebox [6]	20
Obrázek 7: Racelogic Vbox IISX [7]	21
Obrázek 8: Analytické prostředí Circuit tools [8]	22
Obrázek 9: Videoprojekce telemetrie týmu LSU Tiger Racing [9]	23
Obrázek 10: Fotografie z testování [10]	26
Obrázek 11: Fotografie instalace měřícího zařízení [11]	27
Obrázek 12: potenciometry firmy Penny & Giles [12]	28
Obrázek 13: Použitý axiální lineární potenciometr ABElektronik [13].....	29
Obrázek 14: Instalace prototypu měřícího zařízení ve voze Nissan [14]	30
Obrázek 15: Profil testovací tratě [15]	30
Obrázek 16: Snímek z výsledného telemetrického videa [16]	31
Obrázek 17: Pohled na zavěšení předního kola v programu SolidWorks [17]	35
Obrázek 18: Mezikus pro prodloužení páky vahadla spolu s táhlem [18]	36
Obrázek 19: Výsledná zástavba měřící jednotky protlumu tlumiče [19]	37
Obrázek 20: Fotografie ze stavby senzoru polohy škrtkové klapky [20]	38
Obrázek 21: Původní zapojení dvou průtokových ok a dvojitého šroubu [21]	39
Obrázek 22: Nový průtokový šroub se spínačem a dvojité průtokové oko [22]	40
Obrázek 23: Schéma zapojení RPM vstupu [23]	41
Obrázek 24: USB konektor ukrytý pod palubní deskou vozu [24]	41
Obrázek 25: Zástavba základních jednotek s baterií a anténou GPS [25]	42
Obrázek 26: Měření hmotnosti sestavy měřící jednotky protlumu [26].....	44

Tabulky

Tabulka 1: parametry Racelogic PerformanceBox	20
Tabulka 2: Parametry Racelogic Vbox II Sx	21

Grafy

Graf 1: Graf z prvního měření na vozu Nissan s jasným skokovým charakterem	32
Graf 2: Rozdíl rušení při použití různých zdrojů napájení	33
Graf 3: Propružení vozu Vector02 na místě	43

9 Seznam příloh

9.1 Přílohy

Příloha A - Data Vector02-finální verze.DBN

Příloha B - Data Nissan-letišť druhé měření.DBN

Příloha C - Data Nissan-mereni první.vbo

Příloha D - Data Potenciometr-60mm.DBN

Příloha E - Data se špatným zdrojem.DBN

Příloha F - Projekt Racerender-Nissan

9.2 Přílohy na CD

[1] Text bakalářské práce ...novozamsky_richard_text_bp.pdf

[2] Fotografie stavby a testování telemetrie ...Fotografie.rar

[3] Naměřená data ... data.rar

[4] Video z testování ... video.rar

10 Seznam použitého softwaru

Microsoft Office Word 2013

Microsoft Office Excel 2013

SolidWorks 2015

AutoCAD Mechanical 2010

RaceRender 3

Racelogic Circuit tools

Racelogic Performance tools

Zoner Photo Studio 2015